

☐ Generate Collection

Mar 12, 1983

[Previous Doc](#)      [Next Doc](#)      [Go to Doc#](#)

## ⑫ 公開特許公報 (A)

昭58—42750

⑪ Int. Cl.<sup>3</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和58年(1983)3月12日

C 22 C 30/00

6411—4K

C 21 D 6/00

7147—4K

C 22 C 19/03

7821—4K

19/07

7821—4K

38/52

7325—4K

C 22 F 1/10

8019—4K

G 01 B 7/18

7707—2F

発明の数 4

審査請求 未請求

(全 10 頁)

⑭ ストレインゲージ用合金およびその製造方法

⑯ 発明者 増本量

仙台市上杉三丁目8番22号

⑰ 特 願 昭56—140237

⑯ 発明者 中村直司

⑱ 出 願 昭56(1981)9月8日

仙台市鶴ヶ谷四丁目26番11号

特許法第30条第1項適用 昭和36年3月20日

⑰ 出 願 人 財団法人電気磁気材料研究所

発行日本金属学会第88回大会講演概要集において発表

仙台市八木山南二丁目1番1号

⑱ 代 理 人 弁理士 杉村暁秀 外1名

## 明 細 書

1. 発明の名称 ストレインゲージ用合金およびその製造方法

## 2. 特許請求の範囲

1. 重量比にてクロム3～35%、コバルト17～70%、ニッケル0.01～60%および残部鉄と、少量の不純物からなり、ゲージ率が2以上を有することを特徴とするストレインゲージ用合金。

2. 重量比にてクロム3～35%、コバルト17～70%、ニッケル0.01～60%および残部鉄を主成分とし、副成分として銅10%以下、タングステン7%以下、モリブデン10%以下、ニオブ7%以下、タンタル10%以下、バナジウム10%以下、パラジウム20%以下、錳5%以下、アンチモン5%以下、マンガン10%以下、アルミニウム5%以下、シリコン5%以下、チタン5%以下、ゲルマニウム4%以下およびジルコニウム7%以下の1種または2種以上の合計0.1～25%と、少量の不純物とからな

り、ゲージ率が2以上を有することを特徴とするストレインゲージ用合金。

3. 重量比にてクロム3～35%、コバルト17～70%、ニッケル0.01～60%および残部鉄と、少量の不純物からなる合金に加工率1%以上の冷間加工を施し、さらにこれを400℃以下の温度で1分以上100時間以下加熱することによりゲージ特性が安定で、ゲージ率が2以上を有する合金を得ることを特徴とするストレインゲージ用合金の製造方法。

4. 重量比にてクロム3～35%、コバルト17～ニッケル0.01～60%70%および残部鉄を主成分とし、副成分として銅10%以下、タングステン7%以下、モリブデン10%以下、ニオブ7%以下、タンタルパラジウム20%以下、タンタル10%以下、バナジウム10%以下、錳5%以下、アンチモン5%以下、マンガン10%以下、アルミニウム5%以下、シリコン5%以下、チタン5%以下、ゲルマニウム4%以下およびジルコニウム7%以下の1種または2種以上の合計0.1～25%と、少量の不純物とからな

る合金に加工率1%以上の冷間加工を施し、さらにこれを400℃以下の温度で1分以上の時間以下加熱することによりゲージ特性が安定で、ゲージ率が2以上を有する合金を得ることを特徴とするストレインゲージ用合金の製造方法。

#### 本発明の詳細な説明

本発明は鉄(Fe)、クロム(Cr)、コバルト(Co)およびニッケル(Ni)からなる合金あるいはこれを主成分とし、副成分として銅(Cu)、タングステン(W)、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)、タンタル(Ta)、バナジウム(V)、パラジウム(Pd)、錫(Sn)、アンチモン(Sb)、マンガン(Mn)、アルミニウム(Al)、シリコン(Si)、チタン(Ti)、ゲルマニウム(Ge)およびジルコニウム(Zr)の1種あるいは2種以上の合計0.1~25%の元素からなり、少量の不純物を含むストレインゲージ用合金およびその製造方法に関するもので、その目的とするところはゲージ率が大きく、ゲージ率の組成に対する変化が小さく、他の諸特性に優れ、かつ加工が容易なスト

レインゲージ用合金を提供するにある。

ストレインゲージは、一般に弾性歪によつてゲージ細線またはゲージ箔の電気抵抗が変化する現象を利用し、逆に抵抗変化を測定することによつて歪の量あるいは応力を計測するもので、広く歪測定に用いられるばかりでなく、近年は平衡型記録計等の工業器の機械量-電気量変換器要素、所謂、ストレインセンサとしても利用される。

ストレインゲージ材料に課せられる条件は、

- 1 ゲージ率が大きいこと
- 2 対銅熱起電力が小さいこと
- 3 比電気抵抗が大きいこと
- 4 比電気抵抗の温度係数が小さいこと
- 5 加工性がよく、機械的性質がよいこと
- 6 安価なこと

などに要約される。

ところで、ストレインゲージは、その構造が金属細線(13~25 $\mu$ m)または箔(3~5 $\mu$ m)を格子状あるいはロゼット状に配置してなり、またその使用法としては前記ゲージを被測定物に接着剤で

貼付し、被測定物に生じた歪を、ゲージの抵抗変化から間接的に測定するものである。

ストレインゲージの感度はゲージ率Kによつて決まり、Kの値は一般に次の式で表わされる。

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = 1 + 2\delta + \frac{\Delta \rho/\rho}{\Delta L/L}$$

ここでRはゲージ細線の全抵抗

$\delta$ はゲージ細線のポアソン比

$\rho$ はゲージ細線の比電気抵抗

Lはゲージ細線の全長

この式で $\delta$ は金属においてほぼ0.3であるから、ゲージ率Kを大きくするためには $\Delta \rho/\rho \cdot (\Delta L/L)^{-1}$ を大きくしなければならない。すなわち、引張変形を与えた時に、材料の長さ方向の電子構造が大幅に変化して、 $\rho$ が増すという性質を具備する必要がある。

さてストレインゲージは、近年マイクロコンピュータの進歩に伴つて、その応用領域がますます拡大して高感度な圧力変換器やロードセルに多用されつつある。特にロードセルにおいては、商

業面における料金はかりの他にホップスケールやタンクスケールの力量計、圧延や押出における圧力計、コンスタントフィーダや車輛重量計やクレーン荷重計等の工業用はかりに用いられ、マイクロコンピュータと共に部品の個数、重量あるいは圧力等の検出と指示の他に、自動制御による工場管理において製品の高品位安定化や歩留まりの向上ばかりでなく、省力および省エネルギーの目的も担っている。

ところが自動制御技術において、計測器機の高精度および高信頼性を得るためにはロードセルに用いられているストレインゲージ素子の特性が重要な決定要因となる。第1表には、現在知られている主要なストレインゲージ素子の材料について、そのゲージ率K、対銅熱起電力 $E_{mf}$ 、比電気抵抗 $\rho$ と比電気抵抗 $\rho$ の温度係数 $C_T$ が示してある。

表 1

材 料	ゲージ率 K	対銅熱起電力 $E_{\text{Cu}}$ mV/°C	比電気抵抗 $\rho$ - cm	比電気抵抗の 温度係数 $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$ $\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$
Cu - Ni	2.12 ~ 2.04	- 43	43 ~ 49	$\pm 0.2$
ISO-Elastic	3.6 ~ 3.53	3	80	4.7
Ni - Cr	2.65 ~ 2.1	4	100 ~ 140	$\pm 0.2$
Manganese	0.5 ~ 0.47	$\pm 2$	40 ~ 45	$\pm 0.2$
Monel	1.9	—	48	20
Karna	2.0	—	—	0.2
Pf - Ir	5.3	—	24.5	3
Pf - Rh - Pd	4.0 ~ 4.3	0 ~ +1.5	14 ~ 30	約 7
Pure Pt	4.8	- 20	10.7	39
Pure Ni	- 12 ~ - 20	- 24	7	60

第1表のうち Cu-Ni 系合金が従来最も多く用いられている。この合金は比電気抵抗  $\rho$  の温度係数  $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$  の小さい特長を有する反面、ゲージ率 K および比電気抵抗  $\rho$  の値も小さすぎ、また対銅熱起電力  $E_{\text{Cu}}$  が大きいために、ストレインゲージ用材料の特性としては十分とはいえない。また同一ロット内またはロット間における性能のばらつきは 5 ~ 10 % にも達し非常に不安定である。その他の合金の特性についても一長一短があり、従来用いられてきたストレインゲージ材料の代替用としては、その特性が十分とはいえない。難かつた。

本発明者らは先にゲージ率 K が大きく、かつ他の諸特性に優れたストレインゲージ用材料として、Fe-Cr-Co 系合金が非常に有望であることを提案してきた（特公昭45-13229）。しかし上記合金系はそのゲージ率 K が組成に対して大きく変化する欠点、即ち組成に対するゲージ率の変動が 20 % にも達するため、ばらつきの少ない安定した製品を製造することは至難であつた。

よつて本発明者らは、ばらつきの少ない高性能

なストレインゲージ用材料を得るために、ゲージ率 K が大きく、組成に対するゲージ率の変化が少なく、他の諸特性も優れ、そして鍛造や圧延、引抜きの如き加工性の良好なストレインゲージ用合金の開発およびその製造方法を得る目的で研究を続け、上記 Fe-Cr-Co 系合金の改良をみた結果、Cr 3 ~ 35 %、Co 7 ~ 70 %、Ni 0.01 ~ 40 % および残部 Fe からなる合金およびこれを主成分とし、さらに副成分として Cu 10 % 以下、W 7 % 以下、Mo 10 % 以下、Nb 7 % 以下、Ta 10 % 以下、V 10 % 以下、Pd 20 % 以下、Sn 3 % 以下、Sb 3 % 以下、Mn 10 % 以下、Al 3 % 以下、Si 3 % 以下、Ti 3 % 以下、Ge 4 % 以下および Zr 7 % 以下の 1 種または 2 種以上の合計 0.1 ~ 25 % 以下の適当量を空気中、好ましくは非酸化性雰囲気中あるいは真空中において適当な溶解炉を用いて溶解した後、マグネシウム合金、あるいはその他の脱酸剤、脱硫剤を少量（1 % 以下）添加してできるだけ不純物を取り除き、充分に攪拌し、組成的に均一な熔融合金を得る。

以下、図面を参照して本発明を詳細に説明する。

本発明合金を製造するには、上記合金組成にな

るようになす主成分の Cr 3 ~ 35 %、Co 7 ~ 70 %、Ni 0.01 ~ 40 % 残部 Fe と副成分の Cu 10 % 以下、W 7 % 以下、Mo 10 % 以下、Nb 7 % 以下、Ta 10 % 以下、V 10 % 以下、Pd 20 % 以下、Sn 3 % 以下、Sb 3 % 以下、Mn 10 % 以下、Al 3 % 以下、Si 3 % 以下、Ti 3 % 以下、Ge 4 % 以下および Zr 7 % 以下の 1 種または 2 種以上の合計 0.1 ~ 25 % 以下の適当量を空気中、好ましくは非酸化性雰囲気中あるいは真空中において適当な溶解炉を用いて溶解した後、マグネシウム合金、あるいはその他の脱酸剤、脱硫剤を少量（1 % 以下）添加してできるだけ不純物を取り除き、充分に攪拌し、組成的に均一な熔融合金を得る。

つぎにこれを適当な形および大きさの鋳型に注入して健全な鋳塊を得、さらにこの鋳塊を高温あるいは常温において、鍛造、圧延あるいは引抜き等の方法によつて、加工率 1 % 以上の冷間加工を施し、目的の形状のものの例えば直径 0.06 mm の線材あるいは厚さ 0.02 mm の箔材を造り、この線材または箔材を上記の加工後そのまま、あるいは、水素

中その他の適当な非酸化性ガス中もしくは真空中で400℃以下の温度で1分以上100時間以下加熱する熱処理を加えて目的の試料を得る。そして上記方法により得られた合金試料について、ゲージ率 $K$ 、対銅熱起電力 $E_{\text{ref}}$ 、非電気抵抗 $\rho$ および非電気抵抗 $\rho$ の温度係数 $\alpha$ を測定したところ、ゲージ率 $K$ : 2~5.7、対銅起電力 $E_{\text{ref}}$ :  $\pm 3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 以下、非電気抵抗 $\rho$ の最大値:  $90 \mu\Omega\text{-cm}$ および $\rho$ の温度係数 $\alpha$ :  $+10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 以下の特性を有し、かつゲージ率 $K$ の組成依存性が極めて小さい特長を有するストレインゲージ用合金が得られる。

第1図はゲージ率 $K$ におよぼす冷間加工率の効果を開けたものである。図からわかるように、加工を加える前のゲージ率 $K$ はいずれの合金試料の場合でも2以下であるが、加工処理を施すことによつてゲージ率は急激に増加して、ほぼ一定値となる。そしてゲージ率 $K$ が2以上を示す加工率はいずれの合金試料の場合においても、1%以上であることが明白である。したがって上記冷間加工は緻密な加工組織を形成することにより、高いゲ

ージ率を得る効果があるが、特に加工率2%以上の加工を施した場合に著しい。また上記の冷間加工について行われる加熱処理(再結晶温度以下の温度と時間)は加工による内部歪の一部を除去し、ゲージ率およびその他の諸特性を安定化する効果がある。その場合加熱温度が高いほど、あるいは加熱時間が長いほど効果が著しい。ここで加熱温度が高ければ加熱時間はより短かくてよく、また逆に加熱温度が低ければ加熱時間はより長くしなければならないことは当然である。

次に本発明の実施例について述べる。

#### 実施例 1

合金番号 30 (組成  $\text{Fe} = 45.5\%$ 、 $\text{Cr} = 12.5\%$ 、 $\text{Co} = 25.0\%$ 、 $\text{Ni} = 16.7\%$ ) の合金の製造

原料としては99.97%純度の電解鉄、99.94%純度の金属クロム、99.99%純度の電解コバルトおよび99.8%純度の電解ニッケルを用いた。試料を造るには原料を全重量100gでアルミナ坩堝に入れ、酸化を防ぐため表面にアルゴンガスを吹きつけながら、空気中で高周波誘導電気炉を用いて溶かし

た。その後よく攪拌して均質な熔融合金とした。つぎにその熔融合金を内径10mm、高さ120mmの鉄型に鋳込み、得られた鋳塊を1000℃で鍛造して外径3mmの丸棒とした。さらに1000℃で中間焼鈍した後、スエーリングおよび冷間引抜きにより直径0.5mmとし、再び1000℃で中間焼鈍をして冷間引抜きにより直径0.06mmの細線とし、長さ70cmに切断して試料とした。この場合の最終加工率(減面率)は98%である。これらの各種加工は高温においても常温においても容易に行うことができた。この試料の加工および熱処理条件と対応した特性は第2表のとおりである。

第2表

処 理	ゲージ率 $K$	対銅熱起電力 $E_{\text{ref}} (\mu\text{V}/^\circ\text{C})$ 0~40℃	比電気抵抗 $\rho (\mu\Omega\text{-cm})$ 20℃	比電気抵抗 の温度係数 $\alpha (\times 10^{-6}/^\circ\text{C})$
(a) 加工率98%の冷間引抜き後の状態	3.8	-2.0	72	6.9
(b) 上記(a)を200℃の真空中で30分間加熱後、常温まで炉中冷却	3.7	-2.1	72	6.9
(c) 上記(a)を200℃の真空中で1時間加熱後、常温まで炉中冷却	3.5	-2.3	70	7.2
(d) 上記(a)を300℃の真空中で30分間加熱後、常温まで炉中冷却	3.5	-2.4	70	7.1
(e) 上記(a)を300℃の真空中で1時間加熱後、常温まで炉中冷却	3.5	-2.4	70	7.1
(f) 上記(a)を480℃の真空中で30分間加熱後、常温まで炉中冷却	3.1	-4.1	68	11.8

## 実施例 2

合金番号 117 (組成 Fe = 32.8%, Cr = 14.0%,  
Co = 28.0%, Ni = 18.7%, W = 6.5%) の合金  
の製造

原料は実施例 1 と同じ純度の鉄、クロム、コバルトおよびニッケルと 99.9% 純度のタングステンを用いた。試料の製造方法は実施例 1 と同じである。試料に種々の加工および熱処理を施して第 3 表に示すような特性を得た。

第 3 表

処 理	ゲージ率 K 常 温	対銅熱起電力 E <sub>mt</sub> (μV/°C) 0 ~ 40°C	比重抵抗 ρ(μΩ-cm) 20°C	比重抵抗 の温度係数 Of(×10 <sup>-4</sup> /°C) 0 ~ 40°C
(a) 加工率 98% の冷間引拔 きの状態	4.2	-1.8	74	8.5
(b) 上記(a)を 200°C の真空 中で 1 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	4.1	-1.2	73	8.4
(c) 上記(a)を 200°C の真空 中で 5 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.9	-1.5	71	8.3
(d) 上記(a)を 300°C の真空 中で 1 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.9	-1.6	72	8.3
(e) 上記(a)を 300°C の真空 中で 5 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.9	-1.7	72	8.4
(f) 上記(a)を 450°C の真空 中で 30 分間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.2	-3.5	69	10.3

## 実施例 3

合金番号 205 (組成 Fe = 30.4%, Cr = 8.7%,  
Co = 21.7%, Ni = 26.1%, Cu = 8.7%, W =  
4.4%) の合金の製造

原料は実施例 1 および実施例 2 と同じ純度の鉄、クロム、コバルト、ニッケルおよびタングステンと 99.97% 純度の銅を用いた。試料の製造方法は実施例 1 と同じである。試料に種々の加工および熱処理を施して第 4 表に示すような特性を得た。

なお本発明合金領域に属する代表的な合金は特性値を、Fe-Cr-Co 3 元合金との比較で示すと第 3 表のとおりである。

第 4 表

処 理	ゲージ率 K 常 温	対銅熱起電力 E <sub>mt</sub> (μV/°C) 0 ~ 40°C	比重抵抗 ρ(μΩ-cm) 20°C	比重抵抗 の温度係数 Of(×10 <sup>-4</sup> /°C) 0 ~ 40°C
(a) 加工率 98% の冷間引拔 きの状態	4.1	-1.9	88	8.5
(b) 上記(a)を 200°C の真空 中で 5 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	4.0	-2.2	85	8.5
(c) 上記(a)を 200°C の真空 中で 10 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.7	-2.5	82	8.9
(d) 上記(a)を 300°C の真空 中で 5 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.8	-2.5	82	8.7
(e) 上記(a)を 300°C の真空 中で 10 時間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.7	-2.7	81	8.8
(f) 上記(a)を 450°C の真空 中で 30 分間加熱後、常 温まで炉中冷却	3.1	-3.7	70	12.2

第 5 表

材料番号	組 成 (Fe 系)			ゲージ率 K 常温	対銅線 起電力 $E_{\text{enf}}$ ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) 0~40 $^\circ\text{C}$	比電気抵抗 $\rho$ ( $\mu\Omega\text{-cm}$ ) 20 $^\circ\text{C}$	比電気抵抗 の温度係数 $\alpha$ ( $10^{-4}/^\circ\text{C}$ ) 0~40 $^\circ\text{C}$
	Cr	Co	Ni				
試験例	3	10	25	—	—	—	—
	7	15	35	—	—	—	—
	11	5	55	—	—	—	—
	25	9.1	27.3	9.1	—	—	—
	30	12.5	23.0	16.7	—	—	—
	33	10.7	14.3	28.6	—	—	—
	40	11.5	19.2	23.1	—	—	—
	42	16.3	15.3	9.1	—	—	—
	43	9.4	6.3	37.5	—	—	—
	45	9.4	15.6	37.5	—	—	—
	47	10.7	17.9	28.6	—	—	—
	110	13.6	27.3	18.2	On 9.1	—	—
	117	14.0	28.0	18.7	W 6.5	—	—
	131	13.6	27.3	18.2	Mo 9.1	—	—
	139	14.0	18.7	31.4	Re 6.5	—	—
	146	13.6	27.3	18.2	Ta 9.1	—	—
	152	13.6	18.2	41.0	V 9.1	—	—
	163	18.5	23.0	16.7	Pd 6.7	—	—
	166	14.3	28.6	19.0	Sn 4.8	—	—
	170	14.3	28.6	19.0	Sb 4.8	—	—
	175	13.6	27.3	18.2	Mn 9.1	—	—
	177	14.3	23.8	39.1	Al 4.8	—	—
	181	14.3	28.6	19.0	Si 4.8	—	—
	187	14.3	28.6	19.0	Ti 4.8	—	—
	193	14.4	28.6	19.2	Cu 3.6	—	—
	195	14.0	28.0	18.7	Zr 6.5	—	—
	205	8.7	21.7	26.1	Cu 8.7, W 4.4	—	—
	215	8.7	21.7	26.1	V 4.5, Ta 8.7	—	—
	224	12.5	20.8	33.3	Mn 2.5, Al 2.5, Si 1.7	—	—
	232	12.5	20.8	33.3	Ti 0.8, Si 0.8	—	—
	237	14.0	23.3	37.2	Mo 0.9, Ta 4.7, Ti 0.9, Zr 0.5	—	—
	241	13.8	23.0	36.9	Pd 7.4, Si 0.5	—	—
	253	14.3	23.8	38.1	Sn 4.8, Sb 1.0, Cu 1.0	—	—
	264	14.3	23.8	38.1	Cu 0.5, Mo 0.5, Ti 0.1, Al 0.1	—	—
	266	13.3	22.1	35.4	Mn 8.8, Ta 2.7	—	—
	270	13.0	21.7	34.8	Cu 11.3, Zr 1.7	—	—

第2図は加工率98%で冷間引抜きして得た Fe-Ox-Co-Ni 系合金の各種試料について、Cr 15%一定量で、Ni 60%以下を組成パラメータとした場合におけるゲージ率 K と Co 量との関係を示す曲線図である。図にみるように Fe-Ox-Co 3元合金のゲージ率 K は Co 量の増加とともに減少するが、本発明合金である Fe-Ox-Co-Ni 系合金の場合、低 Co 側におけるゲージ率 K は急激に減少する。そのため Co 軸に対してゲージ率 K の極大を示す領域が出現する。この極大は Ni 添加量が増加するとともに漸次 Co 量の少ない側に移動し、それとともに極大の値も小さくなり、Ni 60%においてはゲージ率 K が 3 以下となる。したがってゲージ率 K が極大を示す部分においては Co 量に対して不変のゲージ率 K を有することになる。例えば、Ni = 20%の曲線についてみると、Co 20~30%の範囲におけるゲージ率 K は 3.90~3.91 で、ほとんど一定値とみなしてもよいほどで、比軽合金である Fe-Ox-Co 3元系合金 (Ni = 0%) の曲線には全くみられない大きな特長である。第

3図において本発明の請求条件であるゲージ率 K が 2 以上を示す組成範囲は点 A (Cr 15%, Co 20%, Ni 60%および Fe 残余) と点 B (Cr 15%, Co 27%, Ni 30%および Fe 残余) を結ぶ線から上部にあることがわかる。またゲージ率 K が 2 以下を示す合金組成は本発明の請求範囲からはずれることはいうまでもない。

第3図は加工率98%で冷間引抜きして得た Fe-Ox-Co-Ni 系合金の各試料について、Cr 15%一定量で、Co 25~40%を組成パラメータとした場合におけるゲージ率 K と Ni 量との関係を示す曲線図である。Ni 量に対するゲージ率の変化は一般に Ni 10~15%において極小、および Ni 20~25%において極大を示した後、Ni 量の増加とともに漸次減少する。そしてその変化の様子は、Co 0%の場合を除いて、Co 量にはほとんど関係がないことが明らかである。第3図においても、第2図と同様極小と極大を有する組成領域では K が不変を示すことがわかる。第3図において本発明の請求条件であるゲージ率 K が 2 以上を示す組成範囲は点

0 (Cr 15%、Co 0%、Ni 35.5% および Fe 残余) と点 D (Cr 15%、Co 30%、Ni 35% および Fe 残余) を結ぶ線から上部にあることがわかる。またゲージ率  $K$  が 2 以下を示す合金組成は本発明の請求範囲からはずれることはいうまでもない。

第 4 図は上記第 3 図と同じ試料について、対銅熱起電力  $E_{mf}$ 、比電気抵抗  $\rho$  および比電気抵抗  $\rho$  の温度係数  $C_T$  の特性を示してある。図にみるように対銅熱起電力  $E_{mf}$  は組成に対して複雑に変化し、 $+3 \sim -4 \mu V/^\circ C$  で、従来の Cu-Ni 系合金 (第 1 表参照) の値に比べて非常に小さいことがわかる。特に対銅熱起電力  $E_{mf}$  の極大を示す Ni 35% の組成においては約  $1 \mu V/^\circ C$  以下で、合金組成を任意に選ぶことにより極めて小さい値を示すため、応用上直流電源を用いる装置においては安定した性能を発揮できる。比電気抵抗  $\rho$  は Co を含まない Fe-15%Cr-Ni 比較合金を除いた本発明合金では Co 量に関係なく Ni 約 15% において極小を示す。そしてその値は  $48 \sim 90 \mu\Omega \cdot cm$  と大きい。比電気抵抗  $\rho$  の温度係数  $C_T$  は  $\rho$  の変化にほぼ対応してお

り、Ni 15% において極大を示す。  $C_T$  の値は最高  $+10 \times 10^{-4}/^\circ C$  で Cu-Ni 系合金の  $+20 \times 10^{-4}/^\circ C$  と比べるとはるかに大きい、 $\pm 10 \times 10^{-4}/^\circ C$  以下の場合には補償回路を用いることによつて相殺可能である。

以上のように本発明合金のゲージ特性は広い範囲の組成に亘つて優秀である。すなわち上記実施例 1 乃至実施例 2、第 3 表および第 2 図乃至第 4 図からもわかるように、Cr 3~35%、Co 17~70%、Ni 0.01~60%、および残余 Fe からなる Fe-Cr-Co-Ni 系 4 元合金においてゲージ率  $K$  が 2~5.7、対銅熱起電力  $E_{mf}$  が  $\pm 3 \mu V/^\circ C$  以下、比電気抵抗  $\rho$  が  $48 \sim 90 \mu\Omega \cdot cm$ 、 $\rho$  の温度係数  $C_T$  が  $+10 \times 10^{-4}/^\circ C$  以下の特性が得られる。さらに上記 Fe-Cr-Co-Ni 系 4 元合金を主成分として、副成分である Cu、W、Mo、Nb、Ta、V、Pd、Sn、Sb、Mn、Al、Si、Ti、Ge および Zr の 1 種または 2 種以上の合計 0.1~25% を含有した合金の場合においても、ゲージ特性は従来の Cu-Ni 合金の特性について先に示した各値、すなわち  $K = 2.04 \sim 2.12$

$E_{mf} = -43 \mu V/^\circ C$ 、 $\rho = 45 \sim 49 \mu\Omega \cdot cm$  および  $C_T = \pm 0.2 \times 10^{-4}/^\circ C$  に比較して総合的評価を行うと全く遜色なく、極めて優秀である。

本発明合金は特にゲージ率  $K$  が大きく、かつ  $K$  の組成依存性がほとんどないという従来比類をみない特長を有しているため、高感度高安定性を要求されているロードセル用ストレインゲージとして非常に好適である。本発明合金は加工状態かあるいは約  $400^\circ C$  以下の低温度の熱処理を施して使用するが、実施例にみられるように  $300^\circ C$  以下では諸特性は僅かな変化しか示さない。しかし  $400^\circ C$  以上では特性が急激に変化する。また本発明合金は常温においてもまた高温においても鍛造、圧延、引抜き、スエーミング等の加工が容易で工業上利するところが大きい。

次に本発明合金において、合金の組成を Cr 3~35%、Co 17~70%、Ni 0.01~60% 以下、および残余 Fe と限定し、あるいはこれを主成分とし、副成分として添加する元素を Cu 10% 以下、W 7% 以下、Mo 10% 以下、Nb 7% 以下、Ta 10% 以下、

V 10% 以下、Pd 20% 以下、Sn 5% 以下、Sb 5% 以下、Mn 10% 以下、Al 5% 以下、Si 5% 以下、Ti 5% 以下、Ge 4% 以下および Zr 7% 以下と限定した理由は、第 2 図乃至第 4 図、各実施例および第 3 表で明らかのように、その組成範囲のゲージ率  $K$  は 2 以上で、優れたゲージ特性を示し、かつ加工性も良好であるが、組成がこの範囲をはずれるとゲージ特性は劣化し所期の特性は得られなくなるばかりでなく、加工が困難となり、ストレインゲージ用合金として不適当となるからである。第 4 表に主成分の組成と各種条件の関係を示す。



特 性	Cr (%)		Co (%)		Ni (%)		Fe 組 成
	30	35	17	70	0.01	60	
	30	35	17	70	0.01	60	
ゲージ率Kが大 きくなる	○	○	○	○	○	○	○
対銅熱起電力 $E_{mf}$ が小さくなる	○	○	○	○	○	○	○
比電気抵抗 $\rho$ が 小さくなる	○	○	○	○	○	○	○
$\rho$ の温度係数 $\alpha_f$ が小さくなる	○	○	○	○	○	○	○
加工性	○	○	○	○	○	○	○
注	○	○	○	○	○	○	○

○: 変化なし, ×: 悪化

特性は僅かしか変化しないが、 $400^{\circ}\text{C}$ の温度で加熱を行うと比電気抵抗の温度係数 $\alpha_f$ が $10 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ の値を越えてしまい、ストレインゲージの要求特性からはずれてしまうため、ストレインゲージ用合金の製造方法として不適当となるからである。

最後に本発明合金において、冷間加工後、さらに $400^{\circ}\text{C}$ 以下の温度で加熱を行う場合、加熱時間を1分以上100時間以下と限定した理由は、第2表乃至第4表からも明らかなように、上記時間の範囲内で加熱処理を行うとゲージ特性はあまり変化しないばかりか、加工歪が一部除去されるためゲージ特性が安定し、そのため経年変化の少ないストレインゲージ用合金を提供することが可能である。しかし、加熱時間を1分未満とする場合はゲージ特性の安定性が劣り、また100時間の場合にはゲージ特性が急速に劣化することによるため、ストレインゲージ用合金の製造方法として不適当となるからである。

以上本発明によれば従来実用されているNi-Co

さらにCr 3~35%、Co 70~70%、Ni 0.01~60%、および残部Feの組成範囲の合金はゲージ率Kが2以上で、ゲージ率の組成依存性が極めて小さい特長を有し、その上加工性が良好であるが、一般にこれにさらにW、Mo、NbおよびTaの添加はゲージ率Kを高める効果があり、またCu、V、Pd、Sn、SbおよびZrの添加は、ゲージ率K以外のゲージ特性の改善に対する効果があり、Mn、Al、Si、TiおよびGeおよびGeの添加は鍛造加工および冷間引抜き加工を良好にする効果がある。

また本発明合金において、冷間加工率(減面率)を1%以上と限定した理由は第1図で明らかなように、加工率1%以上のゲージ率Kは2以上の高い値を示すが、これ以下の加工率ではゲージ率Kが小さいばかりでなく、製造における加工率の制御が困難となるので、ストレインゲージ用合金の製造方法として不適当となるからである。

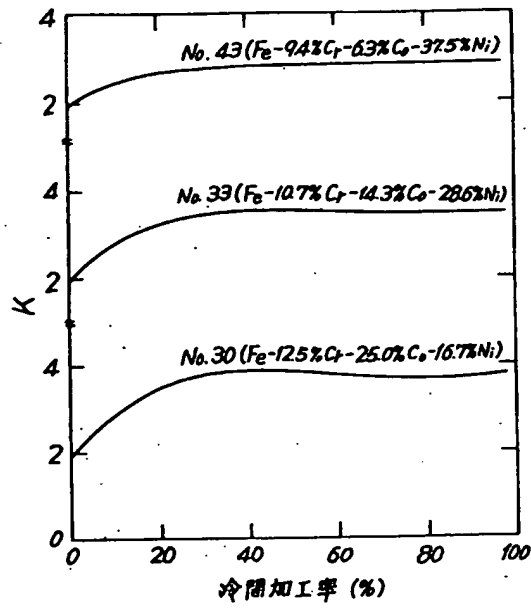
また本発明合金において冷間加工後の加熱温度を $400^{\circ}\text{C}$ 以下と限定した理由は、第2表乃至第4表からも明らかなように、 $400^{\circ}\text{C}$ 以下ではゲージ

系合金あるいは公知のFe-Cr-Co系合金等に比較してゲージ率の組成に対するばらつきが皆無な材料を得ることができるとばかりでなく、かつ優れたゲージ特性と良好な加工性を有する合金とその製造方法を提供することができる。

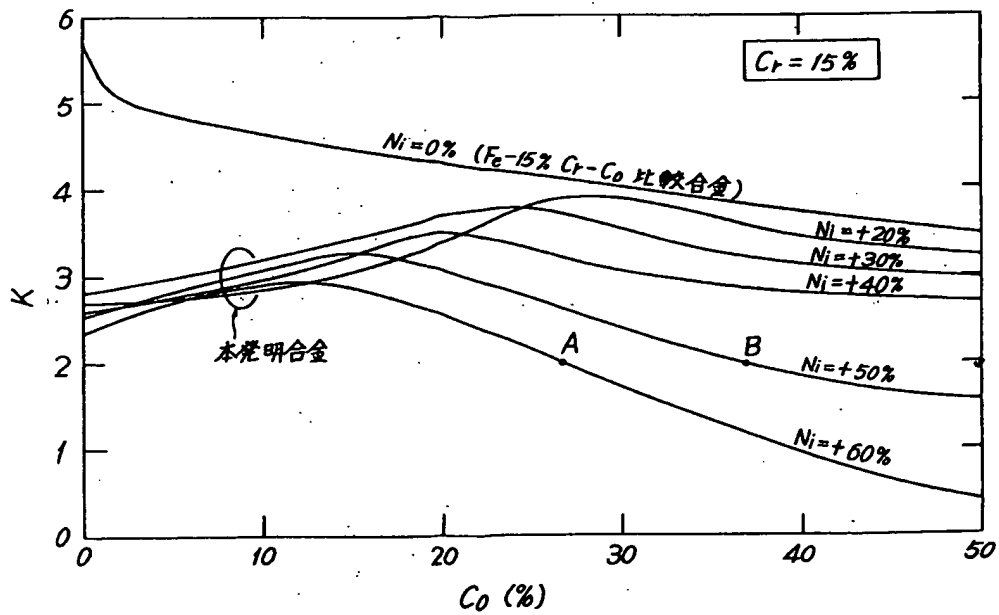
#### 4 図面の簡単な説明

第1図は代表的な本発明合金のゲージ率Kと冷間加工率との関係を示す曲線図、第2図は98%冷間加工を施したFe-15%Cr-Co合金と、異つた量のNi(20, 30, 40, 50あるいは60%)を含む本発明合金のゲージ率KとCo量との関係を示す曲線図、第3図は98%冷間加工を施したFe-15%Cr-Ni合金と、異つた量のCo(25, 30, 35あるいは40%)を含む本発明合金のゲージ率KとNi量との関係を示す曲線図、および第4図は第3図において用いたものと同じ合金の対銅熱起電力 $E_{mf}$ 、比電気抵抗 $\rho$ および比電気抵抗の温度係数 $\alpha_f$ とNi量との関係を示す特性図である。

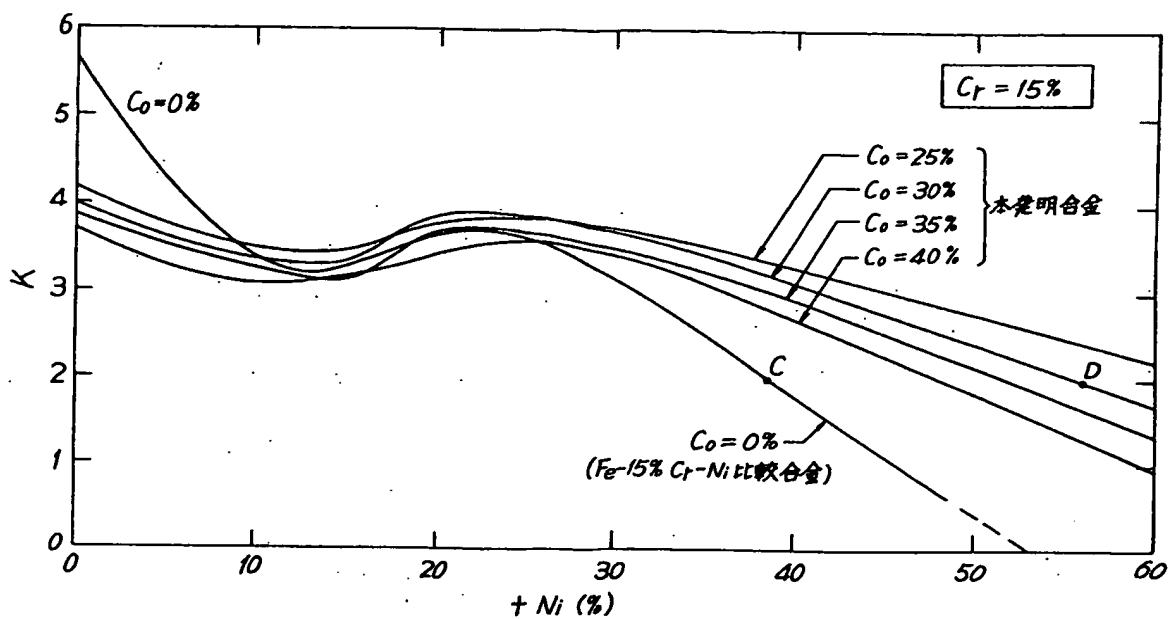
第 1 図



第 2 図



第 3 図



第 4 図

